

ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОНОКРИСТАЛЛОВ SrTiO_3 ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ ИОНАМИ АРГОНА

В.А. Доросинец¹⁾, А. Wieck²⁾¹⁾Белорусский государственный университет,
пр. Независимости, 4, 220030, Минск, Беларусь, dorosinets@bsu.by²⁾Ruhr-Universität Bochum,
Universitätsstraße 150, D-44780 Bochum, Germany, andreas.wieck@ruhr-uni-bochum.de

Исследовались температурные зависимости сопротивления $R(T)$ и магнитосопротивления $R(B)$ монокристаллов SrTiO_3 после облучения ионами аргона. В области перехода диэлектрик-металл на зависимостях $R(T)$ в области низких температур обнаружены особенности, которые интерпретируются в рамках модели вклада квантовых поправок в электропроводность. Из анализа кривых $R(T)$ и $R(B)$ сделан вывод об одновременном проявлении двух видов поправок: слабой локализации и электрон-электронного взаимодействия.

Введение

Возросший за последнее десятилетие интерес к исследованию оксидов переходных металлов обусловлен огромным числом фазовых состояний, в которых они могут находиться при соответствующей обработке (легирование, отжиг, комбинирование тонких слоев разных материалов). В частности подвижность носителей заряда в двумерном слое на границе $\text{LaAlO}_3/\text{SrTiO}_3$ достигает $10\,000\text{ см}^2\text{ В}^{-1}\text{ с}^{-1}$ при 4.2 К [1], что открывает перспективы создания элементной базы электронных приборов на основе оксидов переходных металлов, ярким представителем которых является SrTiO_3 . Представляет интерес и переход при низких температурах структуры $\text{LaAlO}_3/\text{SrTiO}_3$ в сверхпроводящее состояние [2]. Согласно теоретическим и экспериментальным работам подобные уникальные свойства возможно реализовать и на поверхности монокристаллов SrTiO_3 при соответствующей обработке. Например, в работе [3] было показано, что облучение ионами аргона приводит к дефициту кислорода в приповерхностном слое, создавая квазидвумерный электронный газ.

Основная часть

В данной работе использовались коммерческие полированные с одной стороны монокристаллы (100) SrTiO_3 фирмы Crystec размерами $10 \times 10 \times 0.5\text{ мм}$. Монокристаллы SrTiO_3 облучались ионами Ar^+ (напряжение ускорения составляло 1.2 кВ , поток $3 \cdot 10^{12}$ ионов/ $\text{см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$). Расчетная глубина проникновения ионов аргона в SrTiO_3 составляла порядка 100 Å и бралась нами в качестве толщины модифицированного слоя, определяющего электрофизические свойства SrTiO_3 .

Измерения температурных зависимостей сопротивления $R(T)$ и магнитосопротивления $R(B)$ проводились стандартным четырехзондовым методом в криостате замкнутого цикла Cryogenics, позволявшем плавно изменять индукцию магнитного поля до 8 Тл и проводить измерения в диапазоне температур $2 - 300\text{ К}$.

Холловские измерения дают для подвижности носителей заряда в облученном слое значения $\mu = 1200\text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ при $T = 4.2\text{ К}$ после 90 мин облучения, что значительно ниже значений для грани-

цы $\text{LaAlO}_3/\text{SrTiO}_3$ но значительно выше значений подвижности для типичных полупроводников.

На рисунке 1 представлены температурные зависимости слоевого сопротивления образца для 2 значений времени облучения: 80 и 100 минут. По изменению формы кривых отчетливо просматривается процесс перехода из диэлектрического состояния в металлическое по мере увеличения концентрации вакансий кислорода и, соответственно, концентрации электронов в приповерхностном облученном слое SrTiO_3 по мере увеличения времени облучения.

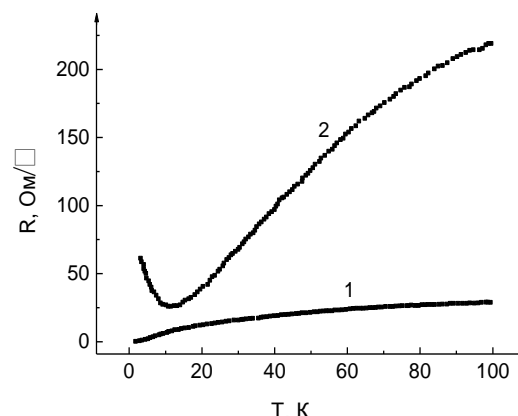


Рис. 1. Изменение вида температурной зависимости слоевого сопротивления облученного слоя STO для трех при повышении времени облучения: 1 – 80 мин, 2 – 100 мин.

Облученные монокристаллы SrTiO_3 проявляли также существенное отрицательное магнитосопротивление для температур ниже 13 К (рис. 2) для переходной области от диэлектрического к металлическому состоянию, которому соответствует образец, представленный кривой 2 на рисунке 1. Вследствие этого вид кривых $R(T)$ рассматриваемого образца существенно изменялся при приложении внешнего магнитного поля (рис. 3).

Интерпретация полученных результатов проводилась в рамках модели квантовых поправок к электропроводности за счет эффектов слабой локализации (СЛ) и электрон-электронного взаимодействия (ЭЭВ). В зависимости от размерности

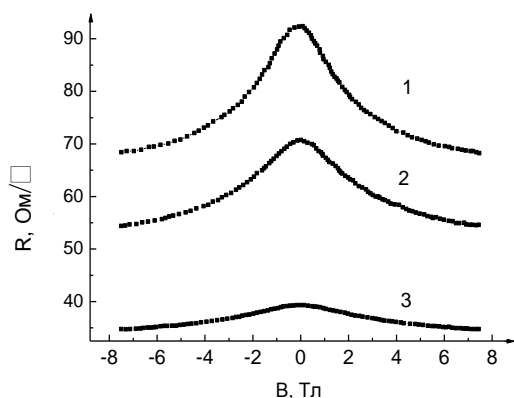


Рис. 2. Магнитосопротивление облученного слоя SrTiO_3 для трех значений температуры: 1 – 3, 2 – 5, 3 – 10 К.

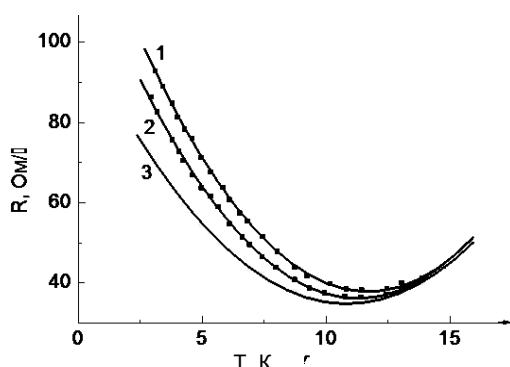


Рис. 3. Температурная зависимость слоевого сопротивления облученного слоя SrTiO_3 для трех значений индукции магнитного поля: 0, 1 и 7.5 Тл.

исследуемых систем вклад СЛ описывается выражениями вида:

$$\Delta\sigma_L^{3D}(T) = \frac{e^2}{2\pi^2\hbar L_{Th}} = \frac{e^2}{2a\pi^2\hbar} T^{p/2}, \quad (1)$$

$$\Delta\sigma_L^{2D}(T) = \frac{e^2}{2\pi^2\hbar} \ln\left(\frac{1}{L_{Th}}\right) = \frac{\alpha b e^2}{2\pi^2\hbar} \ln(T) \quad (2)$$

для трехмерных (3D) и двумерных (2D) систем, соответственно. Показатель степени p принимает значения 1.5, 2 или 3 в зависимости от механизма упругого рассеяния, α и b являются подгоночными параметрами, e – заряд электрона. Для 2D систем механизм рассеяния не сказывается на

характере зависимости квантовой поправки к проводимости.

Поправка, обусловленная ЭЭВ для трехмерного случая описывается выражением:

$$\Delta\sigma_I^{3D}(T) = \frac{e^2}{4\pi^2\hbar} \frac{1.3}{\sqrt{2}} \left(\frac{4}{3} - \frac{3}{2} F \right) \sqrt{\frac{k_B T}{\hbar D_i}} \quad (3)$$

где параметр F описывает степень электронного экранирования. Для случая сильного электронного экранирования, имеющего место в упорядоченных металлах, $F \approx 1$, тогда как при слабом экранировании, что характерно для сильно локализованных систем, $F \approx 0$. Для двумерных систем эта поправка проявляет логарифмическую зависимость, так же как и для эффекта слабой локализации. Характеристическая длина кулоновского взаимодействия для данной поправки описывается выражением $L_C = (\hbar D_i / k_B T)^{1/2}$.

Известно, что магнитное поле подавляет вклад от СЛ, тогда как ЭЭВ мало чувствительно к магнитному полю. Поэтому можно сделать вывод, что сильная зависимость сопротивления от магнитного поля при низких температурах является следствием подавления слабой локализации, а остаточный эффект обусловлен электрон-электронным взаимодействием. Подтверждением данного вывода служит тот факт, что наилучшая аппроксимация кривых на рис.2 достигается при комбинации вкладов приведенных выше формул.

Заключение

Облучение монокристаллов SrTiO_3 ионами аргона приводит к образованию в приповерхностном слое высокой концентрации кислородных вакансий, вследствие чего наблюдается переход диэлектрик-метал. Найден режим облучения, для которого электропроводность в области низких температур определяется квантовыми поправками к электропроводности, причем эффекты слабой локализации и электрон-электронного взаимодействия проявляются одновременно.

Список литературы

1. Venkatesan M., Fitzgerald C. B., Coey J. M. D. // Nature. 2004. V. 430. P. 630.
2. Ohtomo A., Hwang H. Y. // Nature. 2004. V. 427. P. 423.
3. Reagor D.W., Butko V.Y. // Nat. Mater. 2005. V. 4. P. 593.

MODIFICATION OF ELECTROPHYSICAL FEATURES OF SrTiO_3 MONOCRYSTALS AFTER Ar ION IMPLANTATION

V.A. Dorosinets¹⁾, A.Wieck²⁾

¹⁾Belarusian State University,

Nezavisimosti av. 4, 220030 Minsk, Belarus, dorosinets@bsu.by,

²⁾Ruhr-Universität Bochum,

Universitätsstraße 150, D-44780 Bochum Germany, andreas.wieck@ruhr-uni-bochum.de

Temperature dependence of resistance $R(T)$ and magnetoresistance $R(B)$ of Ar ion implanted monocrystals SrTiO_3 have been investigated. In the insulator to metal transition region at low temperatures some features have been observed on $R(T)$ curves which were interpreted in the framework of quantum corrections to the electroconductivity. The analysis of $R(T)$ and $R(B)$ curves reveal the simultaneous occurrence of both types of correction terms: weak localization as well as electron-electron interaction.